

屏蔽EMI的金属及炭素填充的高分子复合材料

姜振华 赵东辉 汤心颐

(吉林大学化学系, 长春, 130023)

摘要 屏蔽EMI材料是现代电子、电器工业不可缺少的材料之一, 尤其是屏蔽EMI高分子材料已经成为绝大多数信息技术设备的壳体材料, 它们在现代电子工业中有着举足轻重的地位。本文对屏蔽EMI的方法及高分子复合材料的特性和发展概况等作简要介绍。

关键词 电磁干扰、电磁屏蔽材料、导电涂料、导电高分子复合材料

随着电子工业的迅速发展, 各种家用和商用电子产品迅速普及, 数量急剧增加。这些电子仪器、设备在工作时发射出的各种频率的电磁波严重地污染了环境, 使电子设备的正常工作 and 无线电广播通讯受到严重干扰。世界上因电磁干扰(Electromagnetic Interference简作EMI)引起电子设备的误动作而导致的严重事故屡见不鲜, 因此, 对付EMI已经成为一个迫在眉睫的研究课题。一些经济发达国家已投入了大量的人力和物力来研究这一课题。本文仅就屏蔽EMI的方法和研究情况做简要介绍。

1 几种限制电磁波外溢量的法规

由于电子设备数量的迅速增加, 电磁波污染已经成为一个危害相当大的社会公害。为了保持环境的清洁, 保证电子设备的正常工作和无线电广播通讯信号的清晰度, 一些经济发达国家及有关国际组织先后颁布了限制电子产品电磁波外溢量的法规^[1~3]。这些法规对电子产品的电磁波外溢量做了严格地规定, 不允许电磁波外溢量超过规定标准的电子产品出厂、进口和使用。表1~8^[1, 2]是国际上几种限制EMI的标准。表中的A类设备是指商用设备, B类设备是指家用设备。

我国也于1988年6月颁布了“信息技术设备的无线电干扰极限值和测量方法”的标准^[3],

表 1 FCC辐射干扰场强的极限值

频率 MHz	电场强度, $\mu\text{V}/\text{m}$	
	A类 (测定距离为30m)	B类 (测定距离为3m)
30~88	30[300]	100
88~216	50[500]	150
216~1000	70[700]	200

注: 1. FCC为Federal Communication Commission (美国)的缩写。

2. []中的数值为测定距离为3m时的换算值。

表 2 FCC电源端子干扰电压的极限值

频率, MHz	电 压, μV	
	A类	B类
0.45~1.6	1000	250
1.6~30	3000	250



姜振华 1961年8月出生于黑龙江省, 1979年考入吉林大学化学系高分子化学与物理专业学习, 1983年毕业同时考入吉林大学研究生院高分子化学与物理专业, 在汤心颐教授指导下进行学习和研究, 1990年获得理学博士学位。现在在吉林

大学化学系高分子教研室从事科研与教学工作, 1985年以来一直从事复合型导电高分子材料的研究工作。

表 3 CISPR辐射干扰场强的极限值

频率 MHz	电力强度, $\mu\text{V}/\text{m}$	
	A类 (测定距离为30m)	B类 (测定距离为10m)
30~88	30	30[100]
88~230	35	35[116]
230~1000	37	37[123]

注: 1. CISPR为Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques的缩写。
2. []中的数值为测定距离为3m时的换算值。

表 4 CISPR电源端子干扰电压的极限值

频率 MHz	电 压, dBμV					
	A类			B类		
	准峰值 平均值	准峰值		平均值		
		接地	不接地	接地	不接地	
0.15~0.2	83	70	70	66	57	53
0.2~0.5	79	66	66	60	53	47
0.5~5	73	60	60	54	47	41
5~30	79	66	66	60	53	47

表 5 VDE辐射干扰场强的极限值

频率, MHz	电场强度, $\mu\text{V}/\text{m}$	
	A类 (测定距离为30m)	B类 (测定距离为10m)
0.01~30	50*	50**
30~40	500	50
41~68	30	50
68~87	500	50
87~107.828	500	50
107.828~174	500	50
174~230	30	50
230~470	500	50
470~760	180	200
760~790	900→700***	200
790~1000	900→700	200

注: 1. VDE为Verband Deutscher Electrotechnike (德国)的缩写。
2. * 测定距离为100m; ** 测定距离为30m;
*** 测定距离为10m, 在此范围内线性递减。

对信息技术设备的无线电干扰强度作了规定 (见表9和表10)。

表 6 VDE电源端子干扰电压的极限值

频率, MHz	电压, $\text{dB}\mu\text{V}$	
	A类	B类
0.01~0.15	90.0→69.5*	79→57.5*
0.15~0.5	66	54
0.5~30	60	48

注: 在此范围内线性递减, 这个数值为推荐值, 不要求一定达到。

表 7 日本辐射干扰场强的极限值

频率 MHz	电场强度, $\mu\text{V}/\text{m}$	
	第一种情报装置 (工、商业区) (测定距离为30m)	第二种情报装置 (住宅区) (测定距离为10m)
30~230	30	30
230~1000	70	70

表 8 日本电源端子干扰电压的极限值

频率 MHz	电压, mV			
	第一种情报装置 (工、商业区)		第二种情报装置 (住宅区)	
	准峰值	平均值	准峰值	平均值
0.15~0.50	9	2	2~0.63	0.63~0.2
0.50~5	4.5	1	0.63	0.2
5~30	4.5	1	1	0.315

表 9 信息技术设备无线电干扰场强的极限值

频率 MHz	准峰值极限值, $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$	
	A级ITE	B级ITE
30~230	30	30
230~1000	37	37

注: A级ITE (信息技术设备的英文缩写)是指商用及工业环境中使用的设备, 所采用的保护距离为30m; B级ITE是指家用及住宅区中使用的设备, 所采用的保护距离为10m。

表 10 信息技术设备的电源端子
干扰电压限值

频率 MHz	限值, dB(μ V)			
	准峰值		平均值	
	A级ITE	B级ITE	A级ITE	B级ITE
0.15~0.50	79	66~56	66	56~46
0.50~5	73	56	60	46
5~30	73	60	60	50

2 屏蔽EMI效果的测定^[4~10]

屏蔽EMI效果的测定是一个比较复杂的问题,影响测定结果的因素很多,到目前为止,世界上还没有一个完全统一的测定方法,应用的较多的方法有屏蔽室法、同轴传输线法和“盒子”法。屏蔽室法是比较原始的方法,需要有特定的屏蔽房间。图1^[4]和图2^[5]分别是同轴传输线法和盒子法的测试装置示意图。

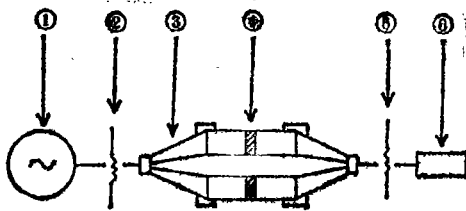


图 1 测定屏蔽EMI效果的同轴传输线体系

- ①—信号发生器; ②—发射天线;
- ③—样品夹具; ④—环形样品;
- ⑤—接收天线; ⑥—信号接收器

同轴传输线法的一个突出优点是信号总是平面波,所以样品总是处在远场,测量结果与发射频率无关,能反映样品的本质。“盒子”法的优点是它能测定孔、断点和空隙的影响。“盒子”法更接近实际情况,但有时会因盒子的几何形状引起共振使测量出现错误。图3^[5]是用这2种方法测定的同一样品的屏蔽效果。

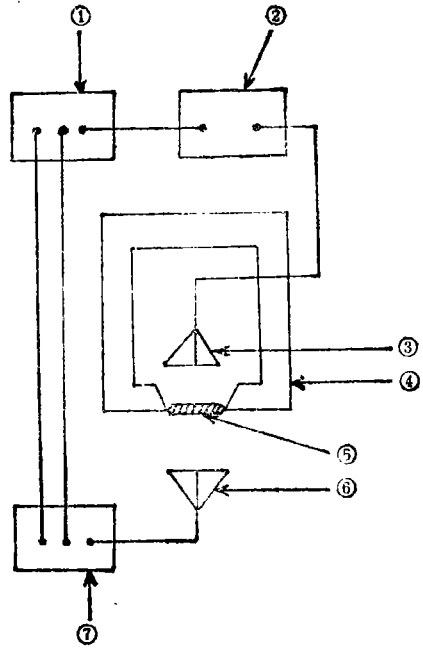


图 2 测定屏蔽EMI效果的盒子

- ①—信号发生器; ②—放大器; ③—发射天线;
- ④—不锈钢盒子; ⑤—样品; ⑥—接收天线;
- ⑦—信号接收器

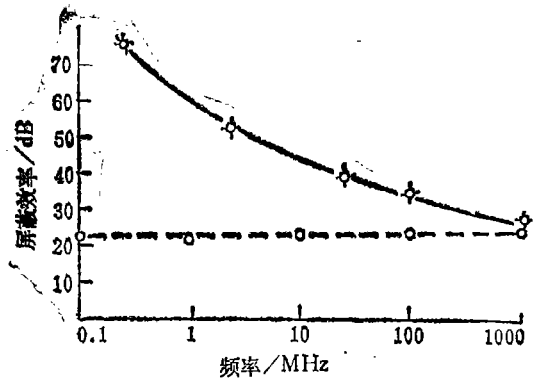


图 3 分别用同轴传输线法(○)和“盒子”法(□)测定的表面电阻为10Ω的镀金聚合物膜的屏蔽效率

3 屏蔽EMI的材料及其特点

由于电磁波可以畅通无阻地通过塑料制品,因此,塑料作为电子产品的壳体材料必须

表 11 几种屏蔽EMI的方法及其特点

方法种类	材 料 及 用 法	优 点	缺 点
导电涂料	将金属粉末、炭黑等导电填料与各种合成树脂混合制成导电涂料,然后涂敷于塑料表面 银系导电涂料 碳素系导电涂料 镍系导电涂料 铜系导电涂料 银铜复合系导电涂料	可在复杂形状上涂敷,设备费少、成本低、可批量生产,可应用于各种塑料导电性、稳定性好 价格低 导电性和价格适宜 导电性和价格适宜 导电性好	价格高 导电性不好 易氧化 价格稍高
金属熔射	把金属在电弧高温下瞬间熔融后,立即用高压空气吹成雾状喷到塑料上	导电性好	附着力差、需特殊的熔射装置,铈有毒
真空镀金	在真空容器中将铝等低沸点的金属气化并使之在塑料表面凝结成薄膜	导电性好,适用于各种塑料	真空容器的大小限制塑料制品的大小
阴极溅镀	在真空容器中将锂离子用高能离子冲击到金属上使金属气化,然后在塑料表面凝结成金属薄膜	导电性好,适用于各种塑料	设备费高
贴金属箔	用单面涂粘剂的方法把金属箔贴到所需的部位	导电性好,不易部分脱落	复杂形状难施工、操作麻烦
还原银	把氯化银涂到塑料表面,然后使之还原析出金属银	导电性好,设备费低	施工困难
化学镀金	通过化学方法将ABS等可镀树脂镀上一层金属	导电性好,不易部分脱落	适用的塑料种类有限,设备费高,需特殊技术,有公害
导电塑料	将导电填料直接混入塑料	成形与屏蔽一体,价格低	导电性较差,塑料强度下降
加金属网	加上金属网		网眼大屏蔽效果降低

采取相应的屏蔽措施。赋予塑料制品屏蔽EMI能力的方法很多,表11^[11]列出了几种常用的方法及其使用的材料和特点。

在这些方法中,使用导电涂料和导电塑料2种方法具有成本低、施工工艺简单、可对各种复杂形状施工等突出优点,在所有屏蔽EMI方法中,应用的比重逐年上升。下面仅就这2种材料的特性及发展情况做简单介绍。

3.1 导电涂料^[12~19]

导电涂料是由导电填料和合成树脂2大主要成份经机械混合制成的一类导电复合材料。导电涂料作为屏蔽EMI材料具有成本低、加工设备简单、能对复杂形状的壳体进行涂敷等优点,因此,涂敷导电涂料是目前屏蔽EMI的主要方法之一。

导电涂料的体积电阻率达 $10^0\Omega\cdot\text{cm}$ 以下时,涂层才具有有效的屏蔽EMI效果^[4],因此,用于屏蔽EMI的导电涂料主要是导电性能优良的金属系和碳素系导电涂料。金属系导电

涂料是指用银粉、镀银铜粉、镍粉和铜粉等金属粉末作为导电填料的涂料,其中用银粉和镀银铜粉作填料的涂料具有优良的导电性能和耐环境性能,作为屏蔽EMI材料比较好,但由于它们的造价较高,尤其是银粉,其价格高昂,因此只能用于一些造价较高的特殊产品;镍粉和铜粉是2种价格较低的导电填料,其导电性能与银粉相近,但由于镍粉和铜粉易氧化,使它们用作导电填料受到一定限制。目前对金属系屏蔽EMI用导电涂料的研究工作是如何妥善解决铜粉和镍粉的抗氧化和涂料贮存期间填料的沉降等问题,尽管人们做了大量工作^[12],但仍有许多技术问题尚未解决。碳素系导电涂料要用高导电性和高结构性的炭黑作填料才能得到体积电阻率为 $10^0\Omega\cdot\text{cm}$ 以下的导电涂料,其体积电阻率最低可达 $10^{-2}\Omega\cdot\text{cm}$ 左右。由于碳素系导电涂料的导电性能相对较差,用作屏蔽EMI材料的效果不是很理想。但碳素系导电涂料具有耐环境性好、密度小、价格低等突出优

点,因此受到人们的青睐。目前对碳素系屏蔽EMI涂料的研究工作主要是开发和利用高导电性和高结构性炭黑以及复合过程中如何在提高炭黑的分散度的同时保持炭黑的结构性等。

用于屏蔽EMI的导电涂料,在国外已有许多商品化品种,这些导电涂料绝大多数是镍粉、铜粉、炭黑等填充的导电涂料^[13]。

3.2 导电塑料^[20~24]

导电塑料是80年代初期开始引起人们普遍关注的一类新型功能高分子复合材料,特别是在开发了高频振动切削法^[20,21]生产金属纤维的技术之后,使导电填料的造价大大降低,从而使人们对它的开发和应用的的研究工作开展得更加活跃。

复合型导电塑料是由导电填料和合成树脂等通过熔融共混制成的。常用的混炼设备有各种挤出机、密炼机等。由于粉末状导电填料会使塑料的力学性能大幅度下降,因此,一般采用纤维状或片(带、条)状填料制造导电塑料效果较好,目前已经开发和利用的导电填料种类很多(表12),可以根据使用要求及基材的特性选择使用。

表 12 用于导电塑料的导电填料^[4,5,22,23]

填料种类		导 电 填 料
碳素	粉末	各种炭黑、石墨粉等
	纤维	沥青碳纤维、PAN碳纤维、石墨纤维等
金属	粉末	铝、锌、铁、铜、镍、银、不锈钢等
	纤维	不锈钢、黄铜、镍、铝、铜、铁等
	片	铝、锌、铜、黄铜、镍、不锈钢等
	条	铝、铁、镍等
金属复合物	玻璃珠	镀铝、镀镍、镀银等
	玻璃纤维	镀铝、镀镍等
	云母	镀镍等
	石墨纤维	镀镍等
其它	金属氧化物	氧化锡等

导电塑料的屏蔽EMI效果与其导电性能有直接关系,只有在其体积电阻率低于 $10^0 \Omega \cdot \text{cm}$ 时才具有有效的屏蔽EMI效果^[4]。

复合型导电塑料是通过导电填料粒子之间相互接触形成的导电通路实现电流传导的。因此,导电塑料的导电性能取决于导电填料的导电性能、用量及其在基材中的分布形态等。图4^[22]是几种导电塑料的体积电阻率与填料用量之间的关系。

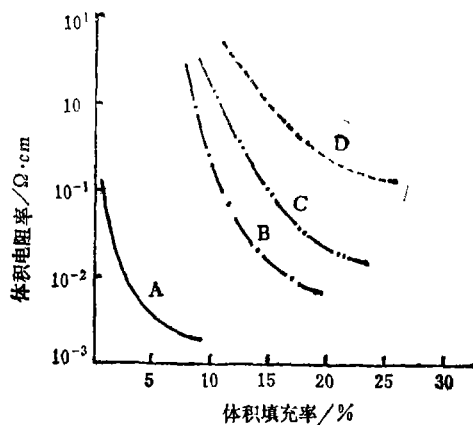


图 4 导电塑料的体积电阻率与填料用量的关系

A—铜纤维/PPO(母粒法); B—黄铜纤维/ABS(一般复合法); C—铝纤维/PPE(一般复合法); D—碳纤维/PS(一般复合法)

导电填料在基材中的分布形态对导电塑料导电性能的影响比较复杂,影响因素较多,如填料的分散度、取向度及长径比等,这些因素取决于复合工艺。因此,复合工艺对导电塑料性能的影响较大,图5表明了混炼时间对导电塑料的屏蔽EMI效果的影响。

从图4中可见,导电塑料的导电率与填料体积百分含量的关系与物理学中的渗流问题(Percolation)相似,即当填料浓度达到某一数值时,塑料的电阻率有一个突变,这个填料浓度称为临界填充率,它与纤维填料的长径比有关(图6^[34]),长径比越大,临界填充率越低。目前所采用的复合工艺制得的导电塑料中纤维的长径比一般可达50~60左右,填料用量一般在7%~8%(体积)以上才能具有良好的导电性能,通常使用的导电塑料的填料用量为10%~15%(体积)左右。从图6可见,如果

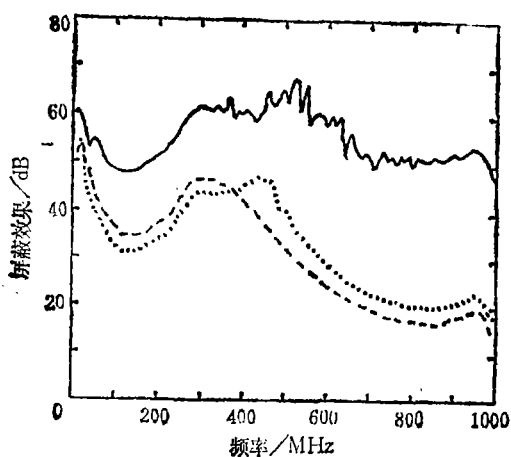


图 5 混炼时间对导电塑料屏蔽效果的影响(PP/镀镍玻璃纤维 ($v_f=15\%$))
——2min; ----4min; 6min

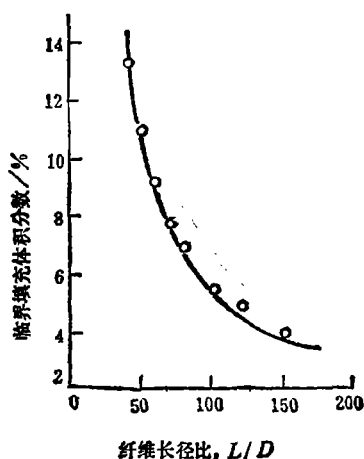


图 6 纤维临界填充率与纤维长径比的关系

能使纤维的长径比保持在100以上,则填料的用量就可降至5%~6%左右,这既可以降低产品成本,又可使导电塑料的比重下降、力学性能提高,因此,选择合理的混炼工艺参数和混炼设备的技术参数是目前研究和开发导电塑料的关键。提高纤维的分散度和保持纤维的完整是相互矛盾的,在选择工艺和技术参数时要兼顾两者,在这方面尽管人们开展了大量研究工

作,但仍然没有取得令人十分满意的结果,还有许多技术问题尚待解决。

树脂的熔体粘度的大小决定混炼过程中剪切力的大小,因此,加入适当的助剂使树脂的熔体粘度下降对于保持纤维的完整性有比较显著的作用。

导电塑料作为屏蔽EMI材料具有一次成型的特点,从而使加工工艺流程大大缩短,使生产成本大大降低,而且产品可靠性高,因此,在屏蔽EMI材料中导电塑料的地位逐年上升。随着人们对导电塑料研究的不断深入,目前存在的一些技术难题将不断被克服,导电塑料将成为屏蔽EMI的重要材料。

人类社会已经进入信息时代,信息技术设备遍及世界,屏蔽EMI材料,特别是屏蔽EMI高分子材料已经成为电子工业领域不可缺少的材料之一,经济发达国家对它的研究十分活跃。在我国,这方面的研究工作虽然还处于起步阶段,但已经引起有关部门的高度重视,随着我国电子工业的发展,对屏蔽EMI材料的研究和开发将会日益活跃。

4 参考文献

- 1 中山紘一, 松本 健. 涂装技术. 1984, 23(6): 79
- 2 宫崎保光. 工业材料. 1988, 36(4): 18
- 3 中华人民共和国国家标准GB254—88
- 4 Mi Yoshitake Japan Plastics Age, 1985, 23 (206): 21
- 5 Bigg D M, Stutz D E. Polymer Composites, 1983, 4(1): 40
- 6 Nason W D, Oberhotzer L C. Plastics Engineering, 1989(8): 42
- 7 右马野雅弘. 工业材料. 1988, 36(4): 61
- 8 坂东 明, 石野 健. 工业材料. 1988, 36(4): 76
- 9 芦田 齐. 工业材料. 1985, 33(7): 37
- 10 广世雅昭. 工业材料. 1982, 30(10): 59
- 11 山里弘之. 工业材料. 1981, 29(12): 31
- 12 太田文夫. “导电性树脂的实际应用技术”. シーエムシー株式会社, 东京, 1984, P41
- 13 工业材料. 1984, 32(10): 83
- 14 中尾惠介. 工业材料. 1984, 32(3): 44
- 15 市野沢晴孝, 岡野泰行. 工业材料. 1984, 32(2): 26
- 16 森 邦夫. 高分子加工. 1988, 37(8): 9
- 17 平桥宗勝. 工业材料. 1984, 32(2): 18
- 18 中山紘一, 解正良和. 工业材料. 1984, 32(10): 26
- 19 菅原泰男. 工业材料. 1988, 36(4): 42
- 20 西沢 仁. ポリマーダイジェスト. 1984, 36(9): 2

- 21 中川威雄.工业材料.1981,29(9):12
- 22 林 盛彦.プラスチック.1984,35(5):115
- 23 出口隆一.工业材料.1984,32(2):48
- 24 高村正义.工业材料.1984,32,(2):53
- 25 Aoba T, Iwase H. Japan Plastics Age, 1985, 23(203):28
- 26 Bigg D M. Polymer Engineering Science, 1979,19(16):1188
- 27 Crosby J M, Travis J E. Rubber World, 1985,(11):30
- 28 林盛 彦.JETI. 1985,23(1):48
- 29 田中吉晴, 酒井和文.工业材料.1981,29(12):44
- 30 中川威雄.工业材料.1981,29(12):48
- 31 岸田靖雄.工业材料.1985,33(7):43
- 32 大谷杉郎.工业材料.1979,27(3):30
- 33 Bigg D M. Advances in Polymer Technology. 1984,4(3/4):255
- 34 Ueda N, Taya M. Journal of Applied Physics, 1986,60(1):459

Polymer Composites Filled with Metal and Carbon for Shielding EMI

Jiang Zhenhua, Zhao Donghui, Tang Xinyi

(Department of Chemistry, Jilin University, Changchun 130023)

Summary Shielding EMI Materials are indispensable to modern electronic industry, in particular polymer composites for shielding EMI have been shell materials of most information technology equipments, which are important to develop electronic industry. In this paper, the properties, and development of polymer composites for shielding EMI have been reviewed.

Key words Electromagnetic interference(EMI), Electromagnetic shielding material, Electrically conductive coatings, Electrically conductive polymer composites

(上接第189页)

Application of the Thermal Diffuse Scattering in Polymer Science

Zhu Yuping

(Center of Materials Analysis, Nanjing University, Nanjing 210008)

Summary Most of the parameters, such as electron density fluctuation, the group velocity of longitudinal phonons and the isothermal compressibility etc. which are related to the disorder and/or thermal motion in the polymer materials, can be obtained from the thermal diffuse scattering. The theory and application of the thermal diffuse scattering are introduced and described detailly in this review.

Key words words Thermal diffuse scattering, Thermal motion, Fluctuation of the electron density, Group velocity of longitudinal phonons.